

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Obrábění těžkoobrobitelných slitin

Machining of Difficult to Machine Alloys

Student: Petra Hájková

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Petra Hájková**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Obrábění těžkoobrobitelných slitin**
Machining of Difficult to Machine Alloys

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Parametry ovlivňující obrobitelnost materiálu.
3. Vhodné nástroje pro těžkoobrobitelné materiály.
4. Ověření nových nástrojů.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry

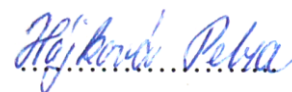


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 5. 2012

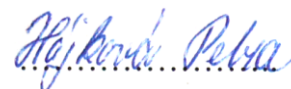
Handwritten signature in blue ink, reading "Hájková Petra".

podpis

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2012



podpis

Petra Hájková
Medlov č.p. 261
783 82

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HÁJKOVÁ, P. *Obrábění těžkoobrobitelných slitin*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 49 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá hrubováním povrchu titanové slitiny AMS 4911–Ti-6Al-4V, metodou frézování. Tuto práci umožnila firma Pramet Tools, s.r.o., sídlící v Šumperku, zabývající se výrobou VBD. Firma chce v budoucnu zavést výrobu VBD pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Teoretická část zahrnuje vlastnosti titanu, jeho slitin, uvádí oblasti použití a způsob výroby. Jsou zde popsány materiály řezných nástrojů vhodných pro obrábění těžkoobrobitelných slitin a druhy jejich opotřebení. Experimentální část zkoumá vlastnosti konkurenčního nástroje firmy Sandvik CZ, s.r.o. při frézování titanové slitiny. Firma Pramet Tools, s.r.o. testuje nově navržené destičky pro hrubování a zjišťuje odchylky od konkurenčního nástroje.

Klíčová slova: obrábění, slitina titanu AMS 4911–Ti-6Al-4V, ověřování nových VBD, frézování.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HÁJKOVÁ, P. *Machining of Difficult to Machine Alloys*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, 49 p. Thesis head: Vrba, V.

This bachelor thesis deals with the roughing of the surface of titan alloy AMS 4911–Ti-6Al-4V, using the method of milling. This work was enabled by the company Pramet Tools, s.r.o. from Šumperk that produces indexable cutting inserts. In the future this company intends to introduce the production of indexable cutting inserts for the machining of difficult to machine alloys. The theoretical part summarizes the properties of titan, its alloys, and presents the areas of usage and method of production. It describes the materials of cutting tools suitable for the machining of difficult to machine alloys and the types of their wear. The experimental part examines the properties of the competitor's tool by the company Sandvik CZ, s.r.o. when milling titan alloy. The company Pramet Tools, s.r.o. tests newly designed inserts for roughing and finds out the deviations from the competitor's tool.

Keywords: Machining, Titanium Alloy AMS 4911–Ti-6Al-4V, verification of new inserts, Milling.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Úvod	10
1. Obecná charakteristika daného problému	11
1.1. Popis firmy Pramet v České republice	11
2. Parametry ovlivňující obrobitelnost materiálů	13
2.1. Obrobitelnost materiálu.....	13
2.1.1. Faktory ovlivňující obrobitelnost materiálu	13
2.1.2. Vlastnosti obráběného materiálu.....	14
2.2. Značení obrobitelnosti	14
3. Vhodné nástroje pro těžkoobrobitelné materiály	15
3.1. Supertvrdé řezné materiály.....	15
3.2. Slinuté karbidy.....	15
3.2.1. Metody povlakování.....	15
3.2.2. Výroba slinutých karbidů.....	16
3.3. Titan a jeho slitiny.....	17
3.3.1. Titan	17
3.3.2. Slitiny titanu	18
3.3.3. Využití titanu a jeho slitin	19
3.4. Materiály řezných nástrojů.....	20
3.5. Rozdělení řezných materiálu dle ISO.....	20
3.6. Základní rozdělení opotřebení VBD	22
3.7. Frézování velkými posuvy – HFC	26
3.7.1. Posuvové a pasivní složky řezné síly při HFC.....	28
3.7.2. Pracovní a funkční úhly VBD pro frézování.....	29

4. Ověření nových nástrojů	30
4.1. Charakteristika materiálu AMS 4911-Ti-6Al-4V	30
4.1.1. Chemické složení	30
4.1.2. Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě	30
4.2. Vyráběná součástka z titanové slitiny	31
4.3. Obráběcí stroj MCV 1270 Power	32
4.3.1. Parametry stroje MCV 1270 Power	32
4.4. Navržené řešení firmy Sandvik	33
4.5. Dosavadní navržené řešení firmy Pramet	35
4.5.1. Použité VBD	35
5. Diskuze experimentu.....	37
5.1. Opotřebení VBD firmy Sandvik	37
5.2. Opotřebená VBD firmy Pramet	38
5.3. Porovnání VBD konkurenčních firem	39
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	41
6.1. Propočet nástroje z firmy Sandvik	42
6.2. Propočet nástrojů z firmy Pramet.....	43
 Závěr.....	46
Poděkování	47
Seznam použité literatury	48

Seznam použitých značek a symbolů

a_e	[mm]	šířka řezu (radiální hloubka řezu)
a_{emax}	[mm]	maximální šířka řezu
Al_2O_3		oxid hlinitý
a_p	[mm]	hloubka řezu (axiální hloubka řezu)
a_{pmax}	[mm]	maximální hloubka třísky
b	[mm]	šířka třísky
b_s	[mm]	délka sražení VBD
CO		oxid uhelnatý
Cr_3C_2		tongbait
CVD		chemická metoda povlakování nástrojů
D_c	[mm]	průměr rozteče VBD
d_{th}	[mm]	průměr metrického závitu frézy
D_3	[mm]	průměr frézy
f	[mm]	posuv na otáčku
F_c	[N]	řezná složka síly obrábění
$FeTiO_3$		oxid železnato-titaničitý
F_f	[N]	posuvová složka síly obrábění
F_p	[N]	pasivní složka řezné síly při obrábění
f_z	[mm]	posuv na zub
H	[mm]	délka frézy po dosedací plochu
h	[mm]	tloušťka třísky
h_D	[mm]	tloušťka třísky
HFC		vysokorychlostní frézování
i_C	[mm]	průměr vepsané kružnice VBD
ISO		mezinárodní organizace pro normalizaci
KNB		kubický nitrid boru
L	[mm]	celková délka frézy
l	[mm]	délka VBD
l_1	[mm]	délka těla frézy
M	[mm]	metrický závit
NbC		karbid niobu
N_{CELK}	[Kč]	celkové náklady na obrábění 1 obrobku
N_N	[Kč/ks]	náklady na nástroj
NO		nástrojové oceli
N_S	[Kč/ks]	náklady na strojní čas
N_V	[Kč/ks]	náklady na výměnu otupeného břítu

PKD		polykrystalický diamant
PVD		fyzikální metoda povlakování nástrojů
R	[mm]	poloměr
ŘK		řezná keramika
r_ϵ	[mm]	rádus špičky VBD
s	[mm]	šířka VBD
SK		slinuté karbidy
T	[°C]	teplota
TaC		karbid tantalu
TiC		karbid titanu
TiCN		karbon nitrid titan
TiN		nitrid titanu
VBD		vyměnitelná břitová destička
v_c	[m · mm ⁻¹]	řezná rychlost
VC		karbid vanadu
WC		karbid wolframu
Z	[ks]	počet VBD upnutých v těle frézy
γ_f	[°]	radiální úhel čela
γ_o	[°]	ortogonální úhel čela
γ_p	[°]	axiální úhel čela
χ_r	[°]	nástrojový úhel nastavení
λ_s	[°]	úhel sklonu ostří

Úvod

V současné době se hlavní pozornost technologů soustřeďuje na celkové zdokonalování technického pokroku, který požaduje konstrukční materiály s výbornými vlastnostmi, jako jsou např. vysoké pevnostní parametry, dobré fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti.

Těmto podmínkám vyhovují slitiny titanu. Tyto slitiny se staly nepostradatelným materiálem zejména v letectví, kde jsou používány při konstrukci proudových a vysoce výkonných motorů. Technici je nazývají kov budoucnosti. Přes jejich vysokou korozní odolnost a tvrdost mají tyto slitiny velkou nevýhodu - veškeré teplo vzniklé při obrábění zůstává na špičce nástroje. Tím se nástroje rychleji otupí a jejich životnost se zkracuje. Proto se musí navrhovat takové nástroje, které vydrží náročné vlastnosti těchto slitin.

Firma Pramet Tools, s.r.o. (dále jen „Pramet“) umožnila zabývat se touto problematikou a aspoň malou částí přispět k jejímu dalšímu kroku vpřed. Firma chce do budoucna zavádět výrobu VBD pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. V současné době řeší problematiku povlakování a novou geometrii nástrojů. Snaží se vyvinout povlak, který by odolal vysokým požadavkům obráběného materiálu.

1. Obecná charakteristika daného problému

Vývojem nových nástrojů pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů se zabývají ve firmě Pramet. Nástroje musí odolávat vysokým teplotám, protože supertvrdé materiály se vyznačují teplotní nevstřebatelností. To znamená, že se do materiálu neodvádí téměř žádné teplo, které vznikne při obrábění. Veškeré teplo, které vznikne, odchází do nástroje. Dochází tak k velkému teplotnímu namáhání špičky a nástroje se rychleji otupí. Experiment je prováděn na titanové slitině AMS 4911–Ti-6Al-4V. Firma Pramet porovnává své nově navržené VBD ZDCW 09T304 s konkurenční VBD R210-09 04 14E-MM 2040 od firmy Sandvik CZ, s.r.o. (dále jen „Sandvik“). Odstraňuje dosavadní nedostatky, aby co nejrychleji mohli přijít na trh se stejně dobrými nástroji pro obrábění těžkoobrobitelných slitin jako má konkurence.

1.1. Popis firmy Pramet v České republice

Firma Pramet se zabývá vývojem, výrobou a prodejem nástrojů pro třískové obrábění a tvářecího nářadí ze slinutého karbidu (dále jen „SK“).

V roce 1933 společnost Stellwag zahájila výrobu SK a nástrojů s přírodním diamantem. V Šumperku se poprvé objevuje v r. 1951, kdy přichází na trh s výrobou nástrojů osazených SK. Více než 50-ti leté zkušenosti s výrobou SK, umožnily firmě zachovat si vedoucí postavení v daném sortimentu na mezinárodním trhu. Nová historie podniku začíná v roce 1999, kdy dřívější akciová společnost Pramet Šumperk byla zakoupena skupinou SECO Tools se sídlem ve švédské Fagerstě. Hlavním vlastníkem je její dceřinná společnost Pramet Scandinavia. Od roku 2000 společnost stále inovuje svůj rozvoj a výzkum nástrojů pro třískové obrábění jak po stránce materiálové, tak po stránce nových tvarů a geometrií nástrojů. Stejnou inovací prošly i materiály pro tvářecí a lisovací nářadí. Nový sortiment tak dnes odpovídá vysokým požadavkům moderních technologických postupů obrábění. V dnešní době je ve firmě zaměstnáno 710 zaměstnanců a v oboru patří mezi vedoucí firmy ve střední a východní Evropě. [1]



Obr. 1.1. Pramet Tools, s.r.o.

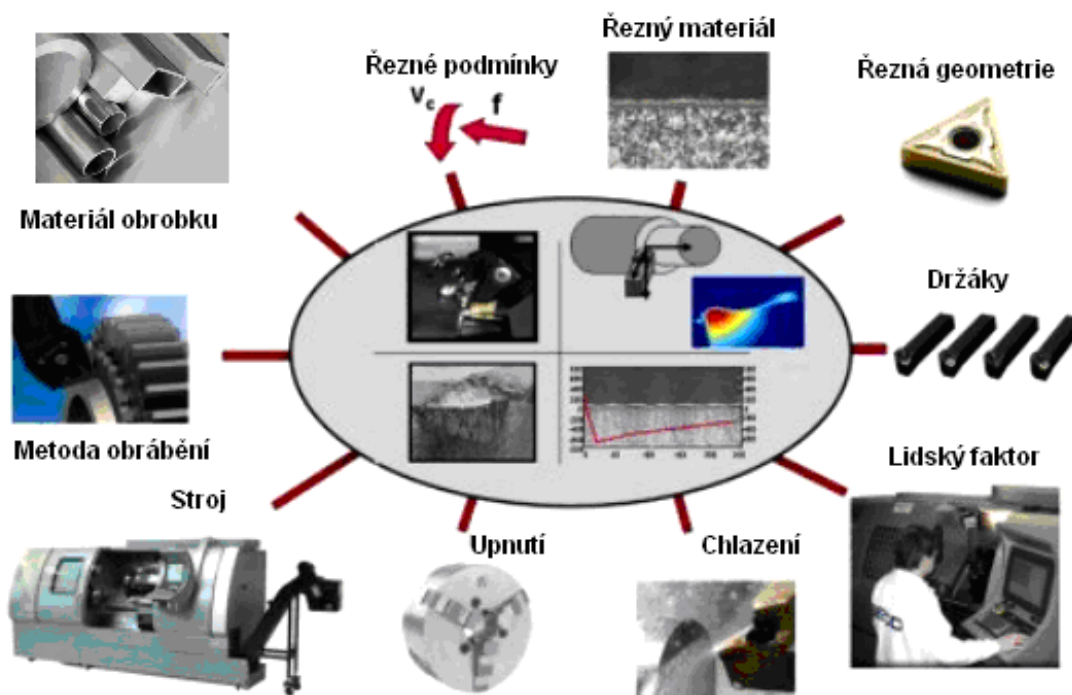
2. Parametry ovlivňující obrobitelnost materiálů

Obrábění kovových materiálů je technologický proces, při kterém dochází k odebrání materiálu a vytváření požadovaného tvaru obrobku. Při procesu obrábění je řezná hrana nástroje velkou silou vtlačována do materiálu, který je deformován velkou silou, až se odděluje ve formě třísek. Výsledkem je opracovaný povrch, na který jsou určité kvalitativní požadavky. [12]

2.1. Obrobitelnost materiálů

Obrobitelnost je v technologii obrábění kovů velice častý výraz. Je to vlastnost, která vyjadřuje, jak účinné může být obrábění při nízkých nákladech a určitých technologických podmínkách. I když je obrobitelnost ovlivňována různými faktory (viz. obr. 2.1.), mluví se o ní jako o vlastnosti materiálu. [13]

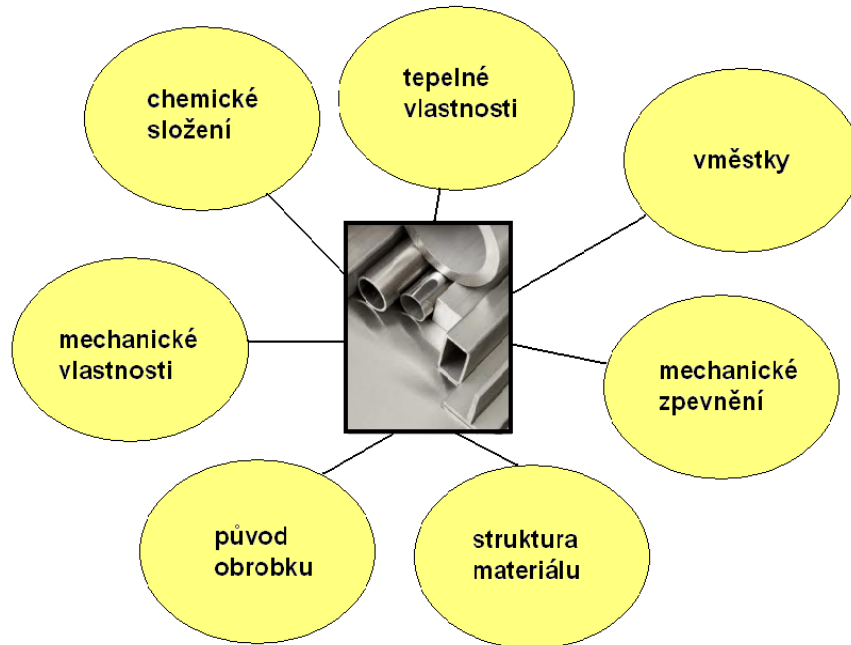
2.1.1. Faktory ovlivňující obrobitelnost materiálu



Obr. 2.1. Měřítka pro posuzování obrobitelnosti [13]

2.1.2. Vlastnosti obráběného materiálu

Vlastnosti materiálu, které významně ovlivňují řezný proces, můžeme rozdělit do následujících skupin.



Obr. 2.2. Vlastnosti obráběného materiálu

2.2. Značení obrobitelnosti

Pro posuzování obrobitelnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do 9 základních skupin:

- a – litiny,
- b – oceli,
- c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),
- d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e – plastické hmoty,
- f – přírodní nerostné hmoty,
- g – vrstvené hmoty,
- h – pryže,
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců. [7]

3. Vhodné nástroje pro těžkoobrobitelné materiály

3.1. Supertvrdé řezné materiály

Obecný název supertvrdé materiály zahrnuje dva synteticky vyrobené materiály jako je diamant (PKD) a kubický nitrid boru (KNB). Díky dobrým mechanickým vlastnostem jako je pevnost v tlaku, tvrdost, teplotní stálost, atd. lze PKD i KNB použít jako řezné nástrojové materiály, zejména pro speciální použití. [4]

3.2. Slinuté karbidy

K nejdůležitějším výrobkům práškové metalurgie patří SK, používané pro tvářecí a řezné nástroje. V letech 1922 až 1927 byly vyvinuty první SK „WIDIA“. Dnes se SK vyrábí z karbidů vysokotavitelných těžkých kovů wolframu (WC), titanu (TiC), pojivem je kobalt (CO). Jako další přísady při výrobě se používají karbidy tantalu (TaC) a niobu (NbC). Největší rozvoj SK nastal na konci 50. let minulého století, kdy se změnilo upevnění VBD z pájené na konstrukci s mechanickým upínáním. [4]

V současnosti většina výrobců SK povlakují. Povlakované SK se skládají z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního povlaku (karbidy, nitridy, oxidy a jejich kombinace). Výsledkem povlakování SK se vytvářejí lepší materiály pro vysoké řezné a posuvové rychlosti, vysoké úběry třísek na čele a prodloužení životnosti nástroje. Mezi prvními na trhu se objevily povlaky z TiC, později byly vyvinuty povlaky TiN a TiCN, nejpozději přišly povlaky Al_2O_3 , které se vyznačují svou vyšší teplotní odolností oproti předchozí skupině materiálů (přibližně 800°C). [4]

3.2.1. Metody povlakování

Metoda PVD

Metodou PVD se povlakový materiál dostává na povrch fyzikálním napařováním. Napařování probíhá za nízkých pracovních teplot pod 500 °C. Původně byla tato metoda vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, kde nízká teplota zaručovala, že nedocházelo k tepelnému ovlivnění nástroje. V poslední době se rozšířila metoda PVD i pro povlakování SK. Pro SK se povlaky nanášejí napařováním a naprašováním. [4]

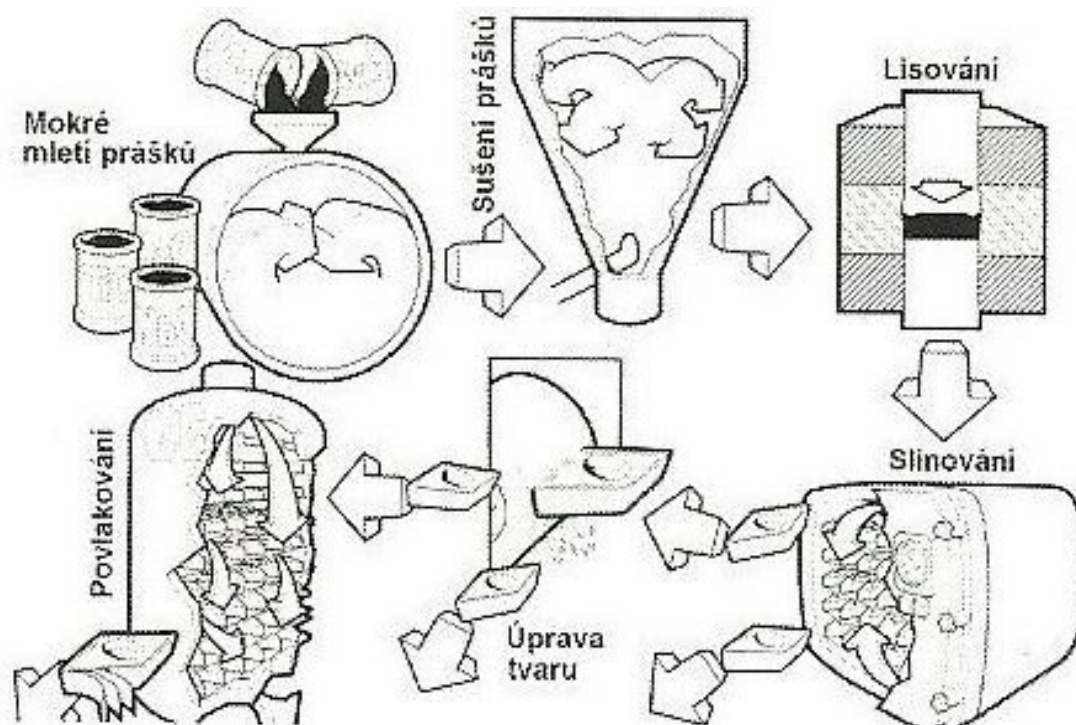
Metoda CVD

Povlaky se dostávají na povrch předmětu chemickým napařováním z plynné fáze, která probíhá za vysokých teplot $1000\div 1200^{\circ}\text{C}$. Touto metodou se povlakuje SK a může se nanášet čtyřmi variantami: tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná, elektronově indukovaná, fotonově indukovaná (např. laserem). [4]

3.2.2. Výroba slinutých karbidů

Základ výroby SK spočívá v lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu, následně nastává slinování při teplotě blízké se k bodu tavení pojiva. Výsledkem je kompaktní materiál, jehož tvrdost je blízká tvrdosti výchozích karbidů a který exceluje vysokou pevností, protože jeho struktura je tvořena pevnou vrstvou pojícího kovu, která obaluje zrna křehkých karbidů. [4]

Postup výroby SK



Obr. 3.1. Postup výroby slinutých karbidů [4]

3.3. Titan a jeho slitiny

3.3.1. Titan

Titan je značně tvrdý kov ocelového vzhledu, který je odolný vůči korozi. Jeho reaktivita závisí na úpravě povrchu. Dokonale vyleštěný vzdoruje za laboratorní teploty kyselinám. V malém množství se vyskytuje ve většině minerálů, mezi nejvýznamnější patří ilmenit (FeTiO_3 oxid železnato-titaničitý) a rutil (TiO_2 oxid titaničitý). [2]



Obr. 3.2. Krystaly Rutilu na pyrofilitu, Ilmenit [4]

Tab. 3.1. Chemická charakteristika [6]

Značka	Ti
protonové číslo	22
relativní atomová hmotnost	47,867
teplota tání	1941 K, 1668°C
teplota varu	3560 K, 3287°C
hustota	4,5kg/dm ³ (Fe=7,8 kg/dm ³ , Al=2,7 kg/dm ³)
barva	bílá



Obr. 3.3. Krystaly kovového titanu [6]

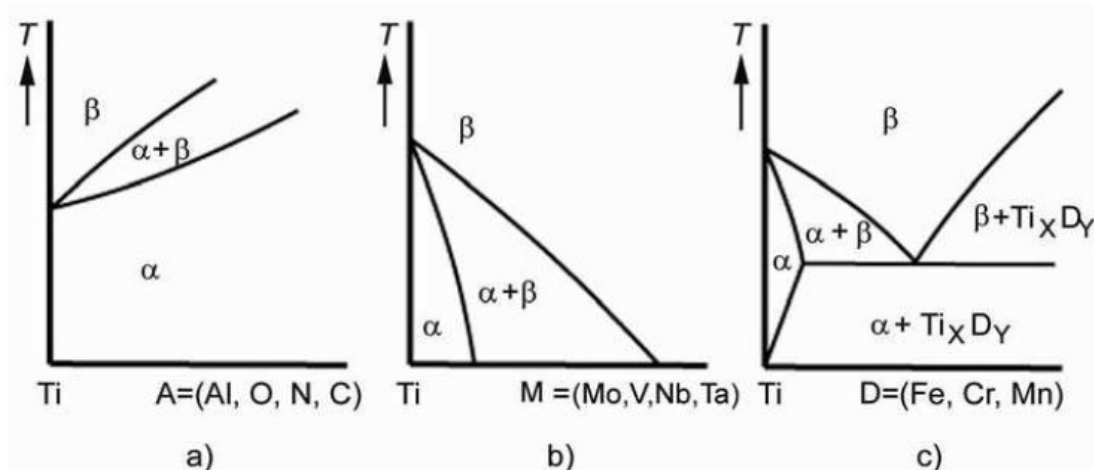
Jedná se o lehký kov s teplotou tání (1668°C) vyskytující se v závislosti na teplotě ve dvou krystalových modifikacích:

- do teploty 882°C je stabilní modifikace α (Ti) s hexagonální krystalovou strukturou,
- nad teplotou 882°C je stabilní vysokoteplotní modifikace β (Ti) se strukturou kubickou prostorově centrovanou. [2]

3.3.2. Slitiny titanu

Slitiny titanu dosahují výrazně vyšších pevnostních vlastností ve srovnání s čistým kovem. Mezi hlavní legující prvky můžeme zařadit: Al, V, Sn, Nb, Cr, Mo, Zr atd. [2]

Uvedené legující prvky i přítomné nečistoty mohou ovlivňovat stabilitu krystalových modifikací. K prvkům zvyšující stabilitu modifikace α (Ti) patří Al a z nečistot je to N, O a C, viz obr. 3.4.a. Mezi prvky, které zvyšují stabilitu vysokoteplotní modifikace β (Ti) patří: Mo, V, Nb, Ta, Fe, Mn, Cr. Některé tyto prvky jsou schopny stabilizovat vysokoteplotní modifikaci až do pokojové teploty (V, Nb, Ta), viz obr. 3.4.b., jiné jen do teploty jejího eutektoidního rozpadu (Fe, Cr, Mn), viz obr. 3.4.c. [2]



Obr. 3.4. Vliv legujících prvků a nečistot na typ rovnovážného stavového diagramu s titanem: a) prvky stabilizující modifikaci α (Ti), b) prvky stabilizující modifikaci β (Ti) až do pokojové teploty, c) prvky stabilizující modifikaci β (Ti) pouze do eutektoidní teploty [2]

3.3.3. Využití titanu a jeho slitin

Mezi nejvýznamnější sloučeniny titanu patří oxid titaničitý, který je známý svou zdravotní nezávadností, objevuje se ve formě bílého prášku, který se pro vysokou krycí dovednost a životnost používá při výrobě nátěrových a malířských barev. [2]

Rozsáhlejšímu využívání titanu brání značné náklady při jeho získávání. Ve srovnání s ocelí je titan o 30% pevnější a o 45% lehčí. Důležité uplatnění nalézá v leteckém průmyslu, kde je hlavním materiálem při výrobě vnějších povrchů letadel, komponentů podvozku a dalších namáhaných součástí letadla. Díky jeho vysoké odolnosti proti vysokým teplotám nachází uplatnění při výrobě protipožárních přepážek nebo krytů proudových motorů. [2]



Obr. 3.5. Lockheed SR-71 Blackbird – letoun je tvořen z 80% titanovou slitinou [12]

3.4. Materiály řezných nástrojů

Řezné materiály (materiály bříty) výrazně ovlivňují produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výroby. Jsou charakterizovány náročnými požadavky, ve kterých nástrojový břit pracuje. Při obrábění bývá břit nástroje vystavován intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání. Tyto nežádoucí vlivy vedou k otupení bříty, případně i k celkové destrukci. Proto řezné materiály musí mít větší tvrdost než materiál obráběný, aby mohl řezný klín vniknout do obráběného materiálu a odřezávat třísku. [7]

Požadavky kladené na řezné materiály

- pevnost a tvrdost v tlaku,
- houževnatost a pevnost v ohybu,
- odolnost proti otěru,
- pevnost za tepla a odolnost proti teplotním rázům,
- chemická stálost,
- vysoká řezivost,
- odolnost proti vzniku trhlin. [7]

3.5. Rozdělení řezných materiálů dle ISO

Podle normy se obráběcí materiály rozdělují do 6 skupin. Skupiny se rozdělují podle materiálu, který se jimi obrábí. Identifikačními znaky jsou písmena a barva. Každá skupina je určena písmenem hlavní skupiny a klasifikačním číslem, čím je číslo nižší, tím můžeme zvolit vyšší rychlost při obrábění (nástroj má pak vyšší otěruvzdornost). Naopak čím je číslo vyšší, tím rostou rychlosti posuvu a pevnost řezných materiálů. [7]

Rozdělení skupin dle ISO 513

P	<p>uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12</p> <p>legované oceli tříd 13, 14, 15, 16</p> <p>nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...)</p> <p>nástrojové legované oceli (193... až 198...)</p> <p>uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...)</p> <p>nízko a středně legované ocelolity skupiny 27 (4227...)</p> <p>feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)</p>
M	<p>austenitické a feriticko austenitické oceli</p> <p>korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné</p> <p>oceli nemagnetické a otěruvzdorné</p>
K	<p>šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...)</p> <p>tvárná litina (4223...)</p> <p>temperovaná litina (4225...)</p>
N	<p>neželezné kovy, slitiny Al a Cu</p>
S	<p>speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti</p>
H	<p>zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa</p> <p>kalené oceli HRC 48 ÷ 60</p> <p>tvrzeň kokilové litiny HSh 55 ÷ 85</p>

Obr. 3.6. Rozdělení řezných materiálů dle ISO [3]

3.6. Základní rozdělení opotřebení VBD

Opotřebení hřbetu nástroje

Zařazuje se mezi abrazivní vzhled opotřebení. Tento druh opotřebení je jedním z hlavních kritérií charakterizujících trvanlivost VBD. Vytváří se v místě styku nástroje a obráběného materiálu v průběhu rezného procesu. Jeho velikost můžeme pouze snížit. [3]



Obr. 3.7. Opotřebení hřbetu nástroje [3]

Výmol na čele

Tento typ opotřebení se nejvíce projevuje u VBD s rovným čelem. Výskyt tohoto opotřebení není omezen jen na tento druh VBD. Objevuje se také při obrábění měkkých materiálů, v tomto případě je výmol širší a mělčí. U tvrdých materiálů je naopak úzký a hluboký. [3]



Obr. 3.8. Výmol na čele [3]

Oxidační rýha na vedlejším břítu

Patří mezi nejvýznamnější kritéria limitující životnost VBD. Toto opotřebení se objevuje zejména u soustružení. Spojením oxidační rýhy s výmolem na čele se negativně projevuje u drsnosti povrchu obrobku. [3]



Obr. 3.9. Oxidační rýha na vedlejším břítu [3]

Plastická deformace špičky

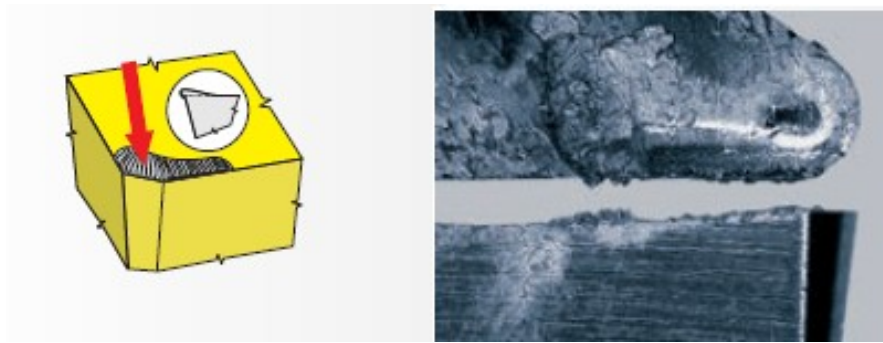
Tento druh opotřebení se projevuje nadměrným přetížením břítu v důsledku vysokých řezných teplot (tedy vysokých rychlostí a posuvů). [3]



Obr. 3.10. Plastická deformace špičky [3]

Tvorba nárůstku

Opotřebení vzniká nalepováním obráběného materiálu na břit nástroje. Nárustek má charakter návaru na břítu. Při jeho odlupování může dojít ke křehkému porušení břítu nástroje. Nízká teplota a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování. Příliš velká tvorba nárůstku může vést až k lomu VBD.[3]



Obr. 3.11. Tvorba nárůstku [3]

Vrubové opotřebení na hlavním břitu

Tento typ opotřebení vzniká v oblasti styku břitu nástroje s povrchem obrobku. Je zapříčiněno zpevněním povrchových vrstev obrobku a otřepy. Objevuje se převážně u korozivzdorných austenitických ocelí. [3]



Obr. 3.12. Vrubové opotřebení na hlavním břitu [3]

Křehké porušování řezné hrany

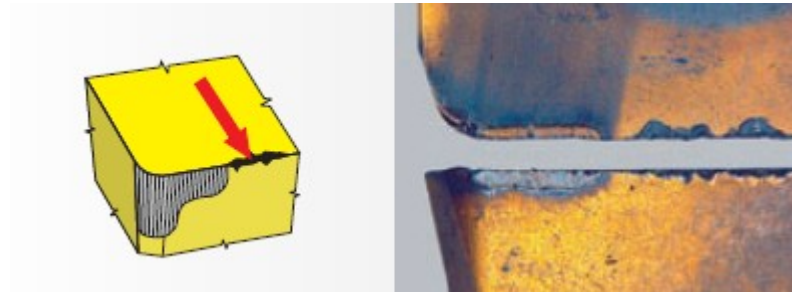
Opotřebení se ve většině případů objevuje v kombinaci s jiným druhem opotřebení. Samostatně je obtížně rozpoznatelné. Jeho příčinou bývá nízká tuhost soustavy stroj–nástroj–obrobek. [3]



Obr. 3.13. Křehké porušování řezné hrany [3]

Porušení řezné hrany (mimo záběr)

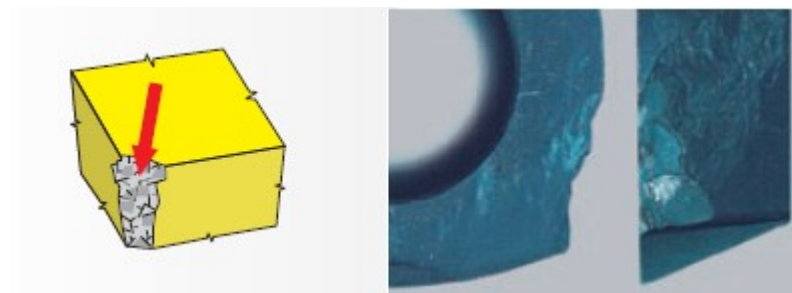
Příčinou vzniku je nevhodné utváření třísky, která při svém odchodu naráží na břit a ten mechanicky poškozuje. [3]



Obr. 3.14. Porušení řezné hrany (mimo záběr) [3]

Destrukce břitu (špičky nástroje)

Příčiny vzniku tohoto opotřebení jsou závislé na materiálu nástroje i materiálu obrobku, stavu a především tuhosti soustavy stroj–nástroj–obrobek. Vliv má i velikost a typ opotřebení. [3]



Obr. 3.15. Destrukce břitu [3]

3.7. Frézování velkými posuvy – HFC

Snaha o zvýšení produktivity obrábění a zkrácení strojních časů motivují rozvoj nástrojů i nástrojových materiálů u všech profesí obrábění. [8]

Objektivním měřítkem výkonnosti frézy je objem materiálu odebraný z obrobku za jednotku času, nejčastěji za minutu. [8]

Výkon frézování lze zvýšit

Vyššími otáčkami vřetene – volbou vyšší řezné rychlosti při průřezu třísky, použitím výkonnějšího materiálu VBD. Konkrétním případem je tzv. vysokorychlostní frézování HFC, kdy je VBD s kruhovým břittem odebírán malý průměr třísky vysokou řeznou rychlostí. [8]

Použití nástrojů s větším počtem zubů – to je často realizováno u speciálních nástrojů velkých průměrů určených pro frézování dosedacích ploch motorových bloků, nebo obecně na frézkách s vyšším výkonem hnacích motorů. [8]

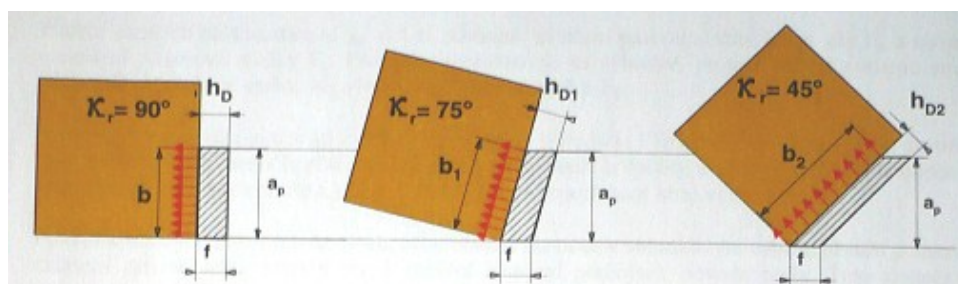
Zvolením podstatně vyšších posuvů (HFC)

U aktuálních tvarů VBD je možnost zvýšení posuvu f_z značně omezena. Často je nutné respektovat tepelnou stabilitu materiálu VBD i jeho odolnost proti cyklickému (mechanickému i teplotnímu) zatížení. S rostoucím posuvem f_z roste tepelné zatížení břitu (jeho teplota a intenzita opotřebení) a pro zachování trvanlivosti břitu je nutno zároveň snížit řeznou rychlost v_c . To výkon frézování zmenšuje. U běžných tvarů břitových destiček pro frézování je proto možnost zvýšení výkonu frézy zvýšením posuvu f_z malá. [8]

Ke zvýšení posuvu f_z je nutno brát v úvahu experimentálně ověřený poznatek, že veškerá mechanická energie (cca 99%) vynaložená na obrábění se mění v teplo. K této změně dochází v důsledku vznikající plastické deformace odřezávané vrstvy materiálu obrobku. Určitá část vzniklého tepla přechází do tělesa břitové destičky, tělesa nástroje i okolního prostředí tak, aby byla zachována určitá úroveň přijatelné teploty, a tím i určitá intenzita opotřebení, která zaručí dosažení požadované životnosti. [8]

Hlavním požadavkem realizace frézování velkými posuvy je zvýšení schopnosti odvádět teplo od břitu do tělesa destičky, aniž by docházelo ke zvýšení jeho teploty. [8]

Zvyšování schopnosti břitu odvádět teplo se dosáhne prodloužením délky zabírajícího ostří VBD. Na obr. 3.16. jsou porovnány tři případy, kdy je hloubka řezu a_p odebírána frézami s VBD s různými úhly natočení $\chi_r = 90^\circ, 75^\circ, 45^\circ$. Posuv na zub f_z je ve všech případech stejný. Z obrázku je patrné, jak se zmenšuje úhel χ_r , zvětšuje se aktivní délka břitu, která se shoduje s šířkou třísky b . [8]



Obr. 3.16. VBD s odlišnými úhly hlavního ostří [8]

Při úhlu nastavení $\chi_r = 90^\circ$ je aktivní délka břitu totožná s hloubkou řezu a_p . Tloušťka třísky je při tomto nastavení stejná s posuvem f_z .

Při úhlu nastavení $\chi_r = 75^\circ$ se zvětšuje aktivní délka břitu v porovnání s úhlem $\chi_r = 90^\circ$, o 8%. Zároveň se zmenší tloušťka třísky o 4%.

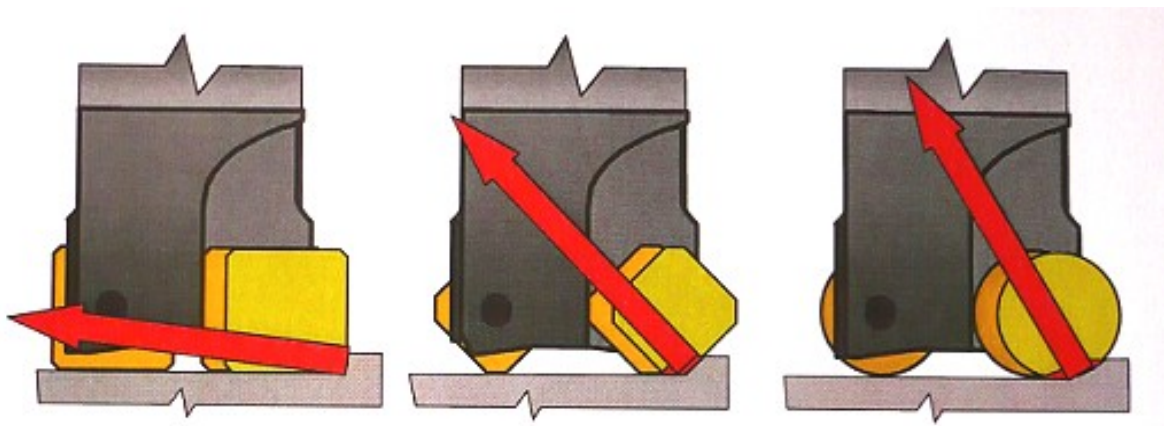
Úhel nastavení $\chi_r = 45^\circ$ má délku aktivní části břitu o 54% větší a tloušťka odřezávané vrstvy se zmenší o 29%. Na obr. 3.16 je také znázorněno množství tepla odvedeného z břitu vztahované na jednotku délky aktivní části břitu. [8]

Využitím menších úhlů nastavení χ_r má za důsledek zvětšení pasivní složky řezné síly F_p a naopak zmenšení posunové složky F_z . Pro čelní frézování je to výhodné, protože tuhost systému stroj-nástroj-obrobek je ve směru osy vřetene větší než ve směru F_f . [8]

Příznivější z hlediska zvětšení aktivní délky břitu jsou VBD kruhové. Tyto destičky mají výhodu, že u nich nedochází ke koncentraci tepla u špičky a obecně mají vyšší odolnost proti cyklickému zatížení břitu, což je u frézování pro opotřebení břitu velmi důležité. Užitím kruhového ostří se výrazně zmenší střední tloušťka třísky a tím naroste specifický řezný odpor, hlavní složka řezné síly F_c . Nárůst F_c může způsobit nežádoucí torzní vibrace, zřejmě při větších vyloženíh nástroje. Použitím HFC fréz předpokládá splnění vysokých nároků na výkon hnacího motoru frézy.[8]

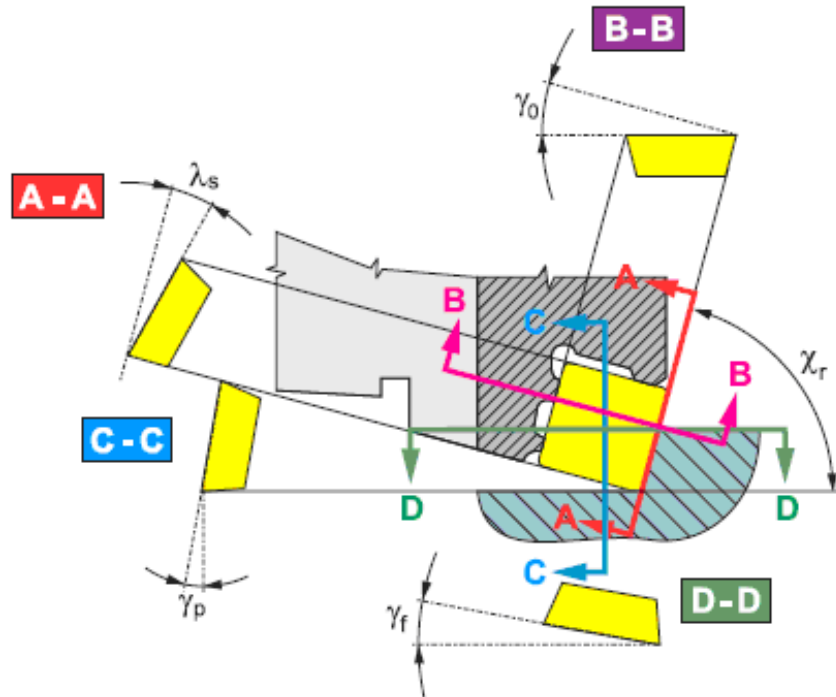
3.7.1. Posuvové a pasivní složky řezné síly při HFC

Použitím speciálních VBD s velkým poloměrem zaoblení břitu pozitivně ovlivňuje poměr posuvové síly F_f a pasivní složky řezné síly F_p . Se zmenšujícím se poloměrem a_p/R narůstá pasivní složka F_p a zmenšuje se složka posunová F_f . S ohledem na skutečnost, že běžně bývá tuhost frézky ve směru osy větší než ve směru posuvu, je převaha složky F_p výhodná. Toto zásadně redukuje vznik vibrací. [8]



Obr. 3.17. Změna sklonu výslednice při různém zaoblení břitu [8]

3.7.2. Pracovní a funkční úhly VBD pro frézování



Obr. 3.18. Pracovní a konstrukční úhly VBD [3]

Konstrukční úhly slouží k určení polohy lůžka, do kterého je upnuta břitová destička a má význam pro konstrukci tělesa frézy. Jde o dva úhly čela axiální úhel čela γ_p (nástrojový zadní úhel čela) a radiální úhel čela γ_f (nástrojový boční úhel čela). [3]

Mezi pracovní úhly se řadí úhel nastavení χ_r , ortogonální úhel čela γ_0 a úhel sklonu ostří λ_s .

Ortogonální úhel čela γ_0 má zásadní vliv na velikost plastické deformace odřezávané třísky a tudíž na velikost řezné síly a na výšku řezné teploty. Čím větší je úhel γ_0 , tím menší jsou řezné síly a tím menší je i potřebný výkon hnacího motoru frézky a naopak. Zmenšující se úhel γ_0 má za následek růst řezné síly i řezné teploty. [3]

Úhel nastavení χ_r stanovuje při určitém posuvu na zub f_z a axiální hloubce řezu a_p tloušťku a šířku třísky. Tím ovlivňuje řezné síly, specifické zatížení, opotřebení a trvanlivost břitu. Zmenšující se úhel nastavení χ_r při konstantním posuvu f_z má za následek zmenšení tloušťky třísky h . [3]

Úhel sklonu ostří λ_s společně s úhlem nastavení χ_r a úhlem čela γ_0 určuje místo prvního dotyku břitu s obrobkem při vnikání břitu. Proto má vliv na odolnost břitu vůči křehkému porušení při obrábění přerušovaným řezem obecně. Současně má vliv i na směr odchodu třísky z místa řezu. [3]

4. Ověření nových nástrojů

Experimentální část této práce byla prováděna ve firmě AERO Vodochody, a.s. Tato firma patří mezi největší výrobce letecké techniky v České Republice. Vzhledem k zaměření firmy nebylo umožněno dokumentovat průběh obrábění, jen jeho výsledek. Na experiment byla použita titanová slitina AMS 4911–Ti-6Al-4V. Byly testovány dva konkurenční nástroje od firem Sandvik a Pramet, na stroji MCV 1270 Power, metodou frézování.

4.1. Charakteristika materiálu AMS 4911-Ti-6Al-4V

Tento materiál patří do skupiny Titanu Grade 5. Vyniká dobrou korozní odolností, vysokou pevností a poměrně nízkou tažností. Využití této slitiny spočívá v různých konstrukčních prvcích pro letecký, kosmický a automobilový průmysl a používá se do teplot cca 400°C. Slitina je dobře svařitelná a může být vytvrzena. [5]

4.1.1. Chemické složení

Tab. 4.1. Chemické složení (hmotnostní %) Slitiny titanu 6Al-4V [5]

O	N	C	H	Fe	Al	V	Ni	Mo
0,20	0,05	0,08	0,015	0,40	5,5-6,75	3,5-4,5	-	-

4.1.2. Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě

Tab. 4.2. Mechanické vlastnosti Slitiny titanu 6Al-4V [5]

mez kluzu	825 MPa - 910 MPa
mez pevnosti v tahu	895 MPa - 1000 MPa
prodloužení v 50 mm, A5	10% - 18%
redukce na plochu	20%
tvrdost	330 HV – 390 HV
modul pružnosti	114 GPa
vrubová houževnatost Charpy	20 J – 27 J

Pro obrábění je doporučeno použít vysoký přísun chladicí kapaliny za účelem kompenzace nízké tepelné vodivosti materiálu, nízké otáčky a relativně vysoké rychlosti posuvu. Pro obrábění je vhodné použít wolfram karbidové nástroje nebo nástroje pro vysoké rychlosti na bázi kobaltu. [5]

4.2. Vyráběná součástka z titanové slitiny



Obr. 4.1. Pant do dveří letadla upnutý ve svěráku frézky

Zákazníkem je požadovaná výroba letecké součástky do dveří. Nástroje budou vykonávat pouze hrubovací operaci. V současné době součástku obrábí nástroj firmy Sandvik. Firma Pramet se snaží vyrovnat konkurenčnímu nástroji v oblasti geometrického vzhledu a v povrchové úpravě. Byly navrženy prototypy destiček ke zkoušce na titanové slitině. V diskuzi o experimentu byly zdokumentovány a popsány výsledky zkoušek obou konkurenčních nástrojů.

4.3. Obráběcí stroj MCV 1270 Power



Obr. 4.2. Frézka MCV 1270 POWER [9]

4.3.1. Parametry stroje MCV 1270 Power

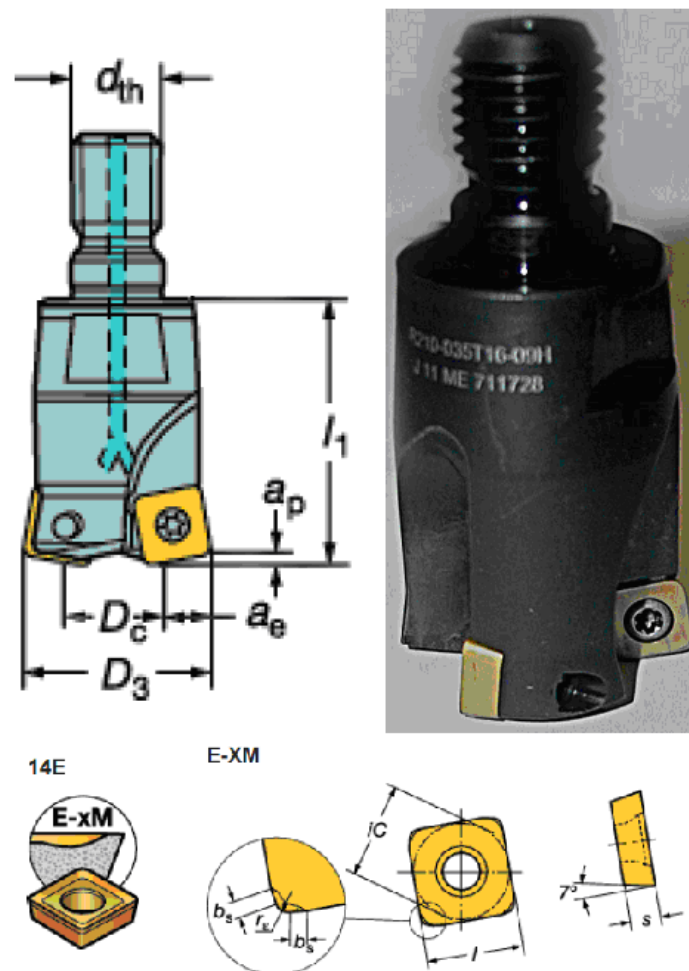
Tab. 4.3. Parametry stroje MCV 1270 Power [9]

stůl		
upínací plocha stolu	mm	1500 x 670
max. zatížení stolu	kg	1200
pracovní rozsah X, Y, Z	mm	1270 x 640 x 720
vřeteno – MCV 1270 Power		ISO 50/ISO 40
max. otáčky vřetene	min ⁻¹	8000
výkon motoru vřetene SIEMENS (S1/S6 – 40%)	kW	28/43
jmenovitý kroutící moment (S1/S6 – 40%)	kW	406/623
rozměry stroje		
délka x šířka x výška	mm	5000 x 3600 x 3330
hmotnost stroje	kg	11500
přívod řezné kapaliny		vnější

Stroje MCV jsou postaveny na nosném rámu ve tvaru C. Uspořádání a tvar odlitků nosného rámu strojů je optimalizováno s ohledem na požadavek, vysokou tuhost a stabilitu. Požití lineárního vedení ve všech lineárních osách zaručuje požadovanou přesnost a dynamiku při obrábění. Okamžitá výměna nástrojů ze zásobníku pomocí otočné ruky umožňuje práci v automatickém cyklu. [9]

4.4. Navržené řešení firmy Sandvik

V současnosti HFC fréza R210-035T16-09H s VBD R210-09 04 14E-MM provádí hrubování a je dobrou volbou pro tuto operaci. Je navržená a zkonstruována pro těžkoobrobitelné materiály a její trvanlivost při tomto obrábění je výborná.



Obr. 4.3. HFC fréza R210-035T16-09H s VBD R210-09 04 14E-MM [11]

Výhodou VBD R210-09 04 14E-MM je pozitivní geometrie čela. Touto geometrií se zabráňuje tepelnému namáhání špičky nástroje a zkracování životnosti. Zvětšeným detailem na obr. 4.3. je znázorněno, že VBD lze používat z obou stran.

Tab. 4.4. Řezné podmínky při frézování

n	v_c	f_{\min}	f_z	a_p	a_e
min^{-1}	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	mm	mm	%
591	65	1650	0,93	1	50

Tab. 4.5. Rozměry frézy mm [11]

Závitová spojka	Přívod řezné kapaliny	kg	D_c	l_1	d_{th}	a_{pmax}	a_{emax}	D_3	Z
R210-035T16-09H	středem	0,4	20,9	50	M16	1,2	8	35	3

Tab. 4.6. Rozměry VBD v mm [11]

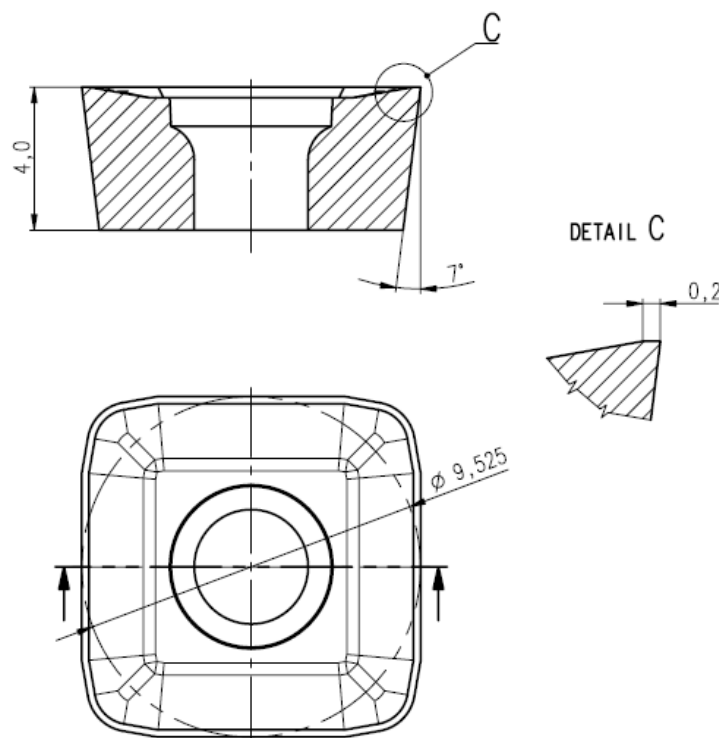
Velikost	$l=iC$	s	b_s	r_ϵ
09	9,5	4,0	0,8	1,4

Materiál VBD GC 2040 firmy Sandvik

Materiál je složen z jemnozrnného substrátu na bázi WC-Co s přísadním obsahem karbidu TaNbC. Obsah pojící kobaltové fáze je 12,5 hm%, velikost zrn fáze WC se pohybuje v rozmezí 1,2 - 2 μm .

Povlak je vytvořen na bázi MT-CVD technologie, složen ze tří vrstev: základní TiN, mezivrstva Ti (C, N) a finální vrstva Al_2O_3 . Celková tloušťka povlaku dosahuje 5 μm .

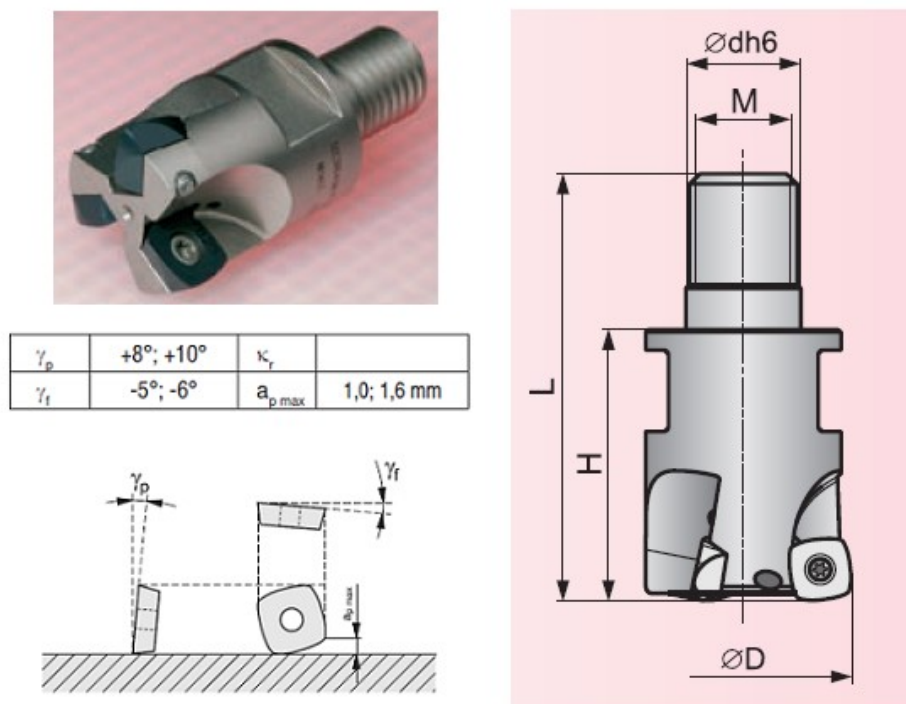
Geometrie VBD R210-09 04 14E-MM



Obr. 4.4. Geometrie VBD R210-09 04 14E-MM

4.5. Dosavadní navržené řešení firmy Pramet

Na experiment byla použita podobná fréza, jakou má firma Sandvik. Fréza 32E3R040M16-SZD09-C se liší pouze průměrem, který má 32 mm. Na povrchovou vrstvu VBD byly použity dva druhy povlaků a to povlak PVD a CVD. Firma neumožnila zmínit bližší informace k těmto povlakům, neboť byly navrhnuty jen jako zkušební povlaky. Typ VBD se pro experiment použil ZDCW 09T304.



Obr. 4.5. Fréza 32E3R040M16-SZD09-C [3]

Tab. 4.7. Rozměry frézy [3]

D [mm]	H [mm]	L [mm]	d [mm]	M	Z	kg
32	40	63	17	M16	3	0,20

4.5.1. Použité VBD

Jak již bylo řečeno, na experiment byly vyrobeny nové geometrie VBD. Snahou technologů bylo vytvořit na VBD podobnou geometrii jakou má konkurenční firma. Jediným problémem, který se nepodařilo vyřešit v důsledku chybějících nástrojů, byla pozitivní geometrie čela. Tento nedostatek byl částečně odstraněn tím, že na vytvořený typ VBD byla použita zkosená hrana fazetky.

Materiál VBD

Materiál se skládá ze submikronového substrátu na bázi WC-Co s přísadním obsahem karbidu Cr_3C_2 . Obsah pojící kobaltové fáze je 10 hm%, velikost zrn fáze WC se pohybuje v rozmezí 0,6-1,2 μm .

Jak již bylo zmíněno, na tento experiment byly navrženy dva odlišné povlaky a to:

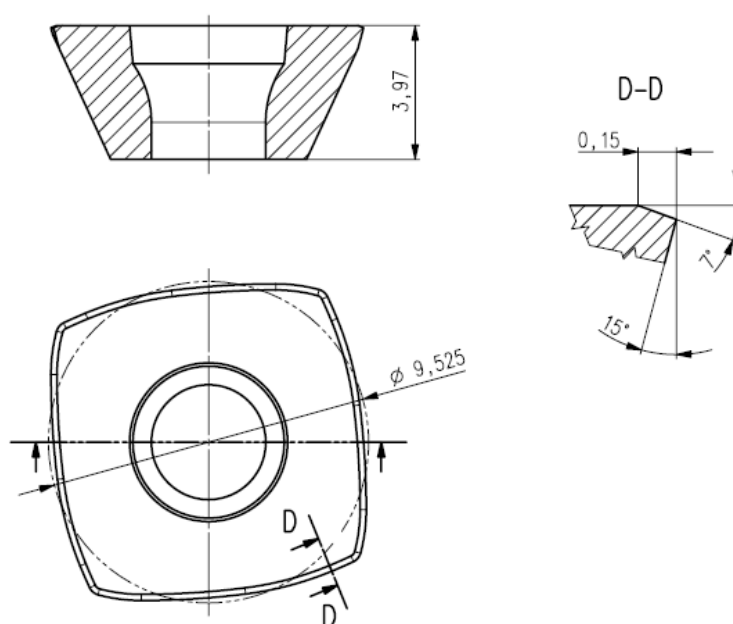
Na **vzorek A** byl použit povlak typu PVD, složený ze tří funkčních vrstev: základová vrstva TiN, druhá vrstva sendvičového typu na bázi TiAlN, finální vrstva je složena z TiAlSiN. Celková tloušťka povlaku dosahuje hodnoty 4-5 μm .

Na **vzorek B** byl použit povlak na bázi MT-CVD technologie, složený ze tří vrstev: základní TiN, mezivrstva Ti (C, N) a finální vrstva Al_2O_3 . Celková tloušťka povlaku dosahuje 13 μm .

Tab. 4.8. Řezné podmínky při frézování

n	v_c	f_{\min}	f_z	a_p	a_e
min^{-1}	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	mm	mm	%
591	59	1650	0,93	1	50

Geometrie VBD ZDCW 09T304

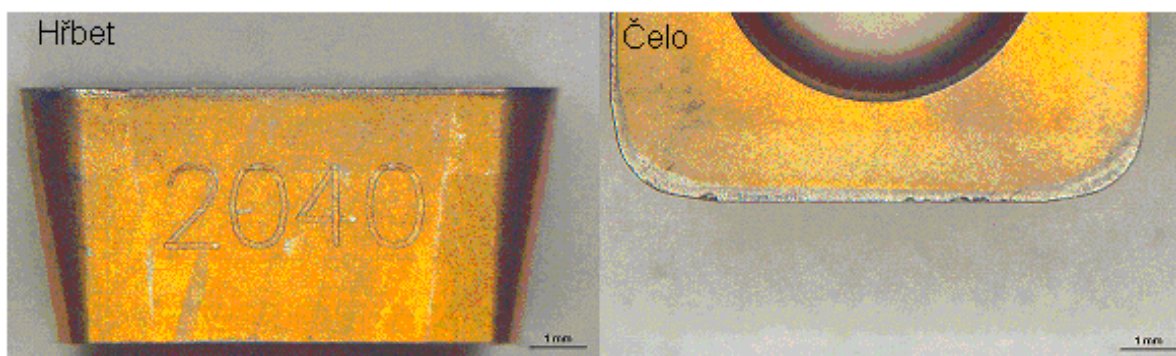


Obr. 4.6. Nová geometrie VBD ZDCW 09T304

5. Diskuze experimentu

V této části práce bylo provedeno vyhodnocení obou konkurenčních nástrojů. Byly vyhledány hlavní odlišnosti a navrženo zlepšení, na které by se měl podnik v budoucnu zaměřit. Jak později zjistíme, firma Sandvik má lépe navržené VBD a proto při obrábění těžkoobrobitelných slitin jsou v současnosti jasnou volbou zákazníků.

5.1. Opotřebení VBD firmy Sandvik



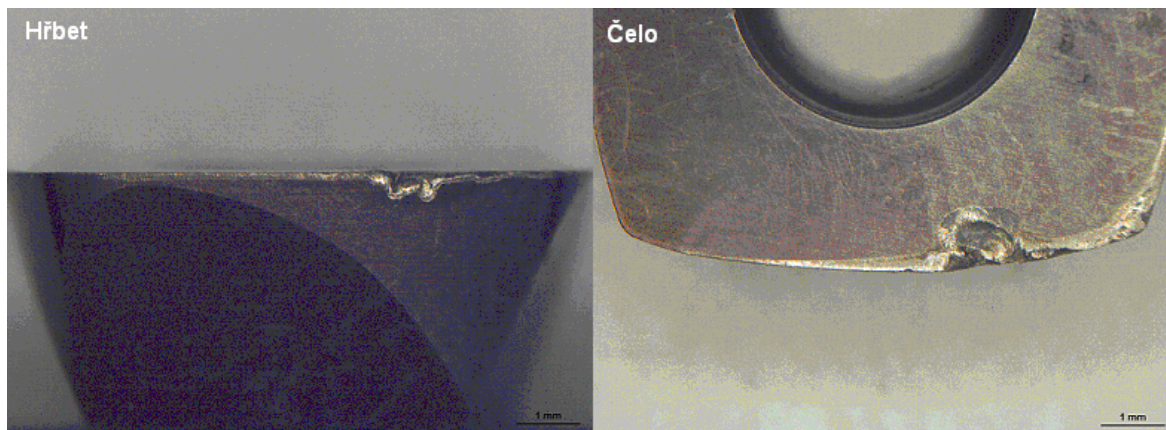
Obr. 5.1. Opotřebení VBD firmy Sandvik

Do frézy R210-035T16-09H byly upnuty VBD R210-09 04 14E-MM. Na VBD (viz obr.5.1) se objevilo jen nepatrné opotřebení. Trvanlivost řezné hrany se pohybovala kolem 25 min., potom byly destičky otočeny na novou řeznou hranu. I když není opotřebení kritické, přesto se destičky otočily, aby se nemusely po 25. minutě provádět častější kontroly. Operace byla prováděna na stroji MCV 1270 Power. Chlazení bylo pouze vnější a poměrně vydatné (5-7%, kapalina dodavatele Charvát, Hocut 795B). Fréza byla upnuta v upínači – tzv. modulární šroubovici ISO 50 pro automatickou výměnu.

Opotřebení, které bylo vytvořeno při obrábění (obr. 5.1.), nebylo tak kritické, přesto si zákazník vyžádal otočení VBD na novou řeznou hranu. Tímto způsobem byla obrobena celá součástka. Celá VBD vydržela obrábět 100 minut.

5.2. Opotřebená VBD firmy Pramet

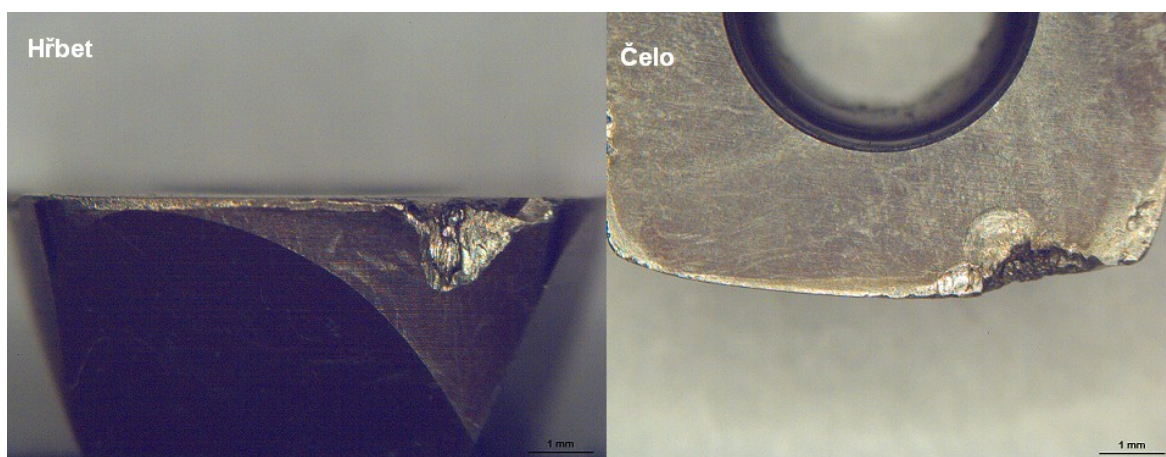
Experiment č.1 – metoda povlakování PVD



Obr. 5.2. Opotřebená VBD firmy Pramet – povlakované metodou PVD

Na první experiment byly použity VBD ZDCW 09T304 povlakované metodou PVD. VBD byly šroubky upnuty do hlavičky frézy 32E3R040M16-SZD09-C, která byla připevněna ve stejném upínači jako fréza Sandviku (ISO 50). Mazání se používalo stejné jako u předešlého nástroje (5–7 %, kapalina dodavatele Charvát, Hocut 795B). Průběžně byly prováděny kontroly a kritické vyštípání (obr. 5.2.) vzniklo okolo 14. minuty.

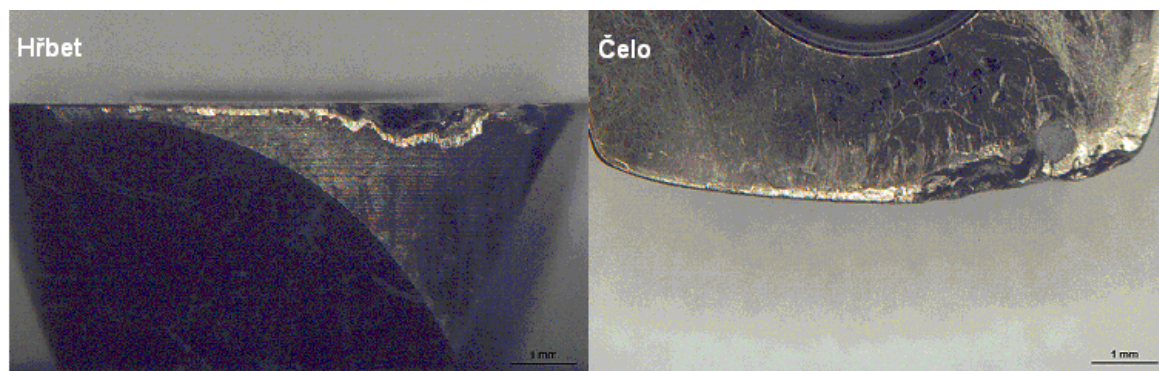
Bylo navrženo snížení hloubky třísky z $a_p=1$ mm na $a_p=0,8$ mm, s cílem snížit opotřebení a prodloužit celkovou trvanlivost VBD. Ostatní parametry zůstaly zachovány. V tomto případě to nemělo žádný vliv na zlepšení trvanlivosti destičky, jelikož dráhy nástroje byly stejné. Po 7 minutách byly destičky vydrolené. Nemělo význam dále pokračovat.



Obr. 5.3. Opotřebená VBD z firmy Pramet se sníženou hloubkou třísky

Experiment č. 2. – metoda povlakování CVD

Po neúspěchu experimentu č.1. byly do frézy 32E3R040M16-SZD09-C upnuty VBD ZDCW 09T304 povlakované metodou CVD. Řezné parametry byly zachovány, tzn. hloubka třísky $a_p=1$ mm. Po 6 minutách se destičky zkontrolovaly a byly již vyštípaný. Další úpravy řezných podmínek byly zbytečné s ohledem na výsledek z prvního experimentu.



Obr. 5.4. Opotřebené VBD firmy Pramet – povlakované metodou CVD

5.3. Porovnání VBD konkurenčních firem

Tab. 5.1. Porovnání VBD konkurenčních firem

název firmy	Pramet		Sandvik
materiál	PVD	CVD	2040
složení zákl. materiálu	submikronový substrát na bázi WC-CO s přísadním obsahem karbidu Cr_3C_2		jemnozrnný substrát na bázi WC-CO
obsah pojící kobaltové fáze	10 hm %		12,5 hm %
velikost zrn	0,6–1,2 μm		1,2–2 μm
složení funkční vrstvy	základní-TiN sendvičová-TiAlN finální-TiAlSiN	základní-TiN sendvičová-Ti (C, N) finální- Al_2O_3	základní-TiN mezivrstva-Ti (C, N) finální- Al_2O_3
tl. vrstvy	4–5 μm	13 μm	5 μm
γ_p	+3°		+2°
γ_f	-13°		+3°
utvářeč / fazetka	fazetka		utvařeč

Srovnávané konkurenční VBD mají hodně odlišností, které mají vliv na výsledek obrábění. Jako možným negativem VBD od firmy Pramet jsou jejich úhly nastavení, které se liší od konkurenčního nástroje. VBD Prametů jsou radiálně negativní, tzn., že v ose nástroje jsou vychýleny v minusové oblasti, konkrétně -13° . Oproti VBD konkurence, které jsou radiálně pozitivní, $+2^\circ$. Axiální úhly se zas tak výrazně neliší a jsou přibližně stejné, Pramet $+3^\circ$, Sandvik $+2^\circ$.

Další odchylkou od konkurenčního nástroje je obsah pojící kobaltové fáze, kde se nástroje od sebe liší o 2,5 %. To je poměrně vysoká odchylka, protože obsah pojící kobaltové fáze má vliv na houževnatost (pevnost, tvrdost) materiálu nástroje. Čím je obsah menší, tím je nástroj křehčí a u titanové slitiny to není příznivá vlastnost. Titanové slitiny potřebují co možná nejhouževnatější materiál nástroje z důvodu její velké tvrdosti.

Následně by stálo zmínit tloušťku povlaku, která se odlišuje. Na tloušťce povlaku závisí odvod tepla při obrábění. Čím více máme hrubozrný materiál, tím více odvádí teplo. V případě VBD Prametů to může hrát velkou roli v životnosti nástroje, kdy destičky měly malou trvanlivost bříty.

VBD jsou odlišné i co se týče geometrie, destičky firmy Sandvik měly utvařeč třísky, zatímco VBD z Prametů měly fazetku. Rozdíl v této odlišnosti není velký. Fazetka zpevňuje nástroj v místě styku s obráběným materiálem a nedochází tak k vylamování bříty. Utvařeč tuto funkci nemá, ten se snaží dostat třísky co nejdříve od nástroje tak, aby zabránil případnému ohřívání.

Jelikož návrh a konstrukce VBD není tak jednoduchá záležitost, která se povede na první pokus, musí technologové z Prametů více zapracovat na složení základního materiálu, úpravě řezné hrany a na geometrii VBD.

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

V této části bylo provedeno celkové zhodnocení z ekonomického hlediska. Byly propočítány pomocí vzorečků z firmy Pramet celkové náklady na výrobu součástí.

$$N_{CELK} = N_S + N_N + N_V \quad [Kč]$$

N_{CELK} ...celkové náklady na obrábění 1 obrobku závislé na řezných podmínkách

N_S ...náklady na strojní čas (podíl odpisu obráběcího stroje, náklady na mzdy, energie a údržba stroje a náklady na podpůrné pracoviště).

N_V ...náklady na výměnu otupeného břitu

N_N ...náklady na nástroj

$$N_S = \frac{\text{hodinová sazba}}{60} \cdot \text{čas obr.} \quad [Kč / ks]$$

$$N_V = \frac{\left(\frac{\text{hodinová sazba}}{60} \right) \cdot \text{množství VBD v nástroji}}{\text{množství obrobků 1 hranou}} \quad [Kč / ks]$$

$$N_N = \frac{\left[\left(\frac{\text{cena VBD}}{\text{množství řezných hran}} \right) \cdot \text{množství VBD v nástroji} \right] + \left[\frac{\text{cena nástroje}}{500} \right]}{\text{množství obrobků 1 hranou}} \quad [Kč / ks]$$

6.1. Propočet nástroje z firmy Sandvik

Tab. 6.1. Údaje k ekonomickému zhodnocení nástroje firmy Sandvik

hodinová sazba stroje	Kč/ks	600
trvanlivost řezné hrany	min	25
čas obrábění	min	75
nástroj	-	R210-035T16-09H
cena nástroje	Kč	5300
množství VBD v nástroji	ks	3
VBD	-	R210-09 04 14E-MM
materiál VBD	-	2040
cena VBD	Kč	225
množství řezných hran	ks	4

$$\text{množství obrobků 1 hranou} = \frac{\text{trvanlivost řezné hrany}}{\text{čas obr.}} = \frac{25}{75} = 0,3^- [\text{ks}]$$

$$N_N = \frac{\left[\left(\frac{225}{4} \right) \cdot 3 \right] + \left[\frac{5300}{500} \right]}{0,3^-} = 538,05 [\text{Kč / ks}]$$

$$N_V = \frac{\left(\frac{600}{60} \right) \cdot 3}{0,3^-} = 90 [\text{Kč / ks}]$$

$$N_S = \frac{600}{60} \cdot 75 = 750 [\text{Kč / ks}]$$

$$N_{CELK} = 750 + 538,05 + 90 = 1378,5 [\text{Kč}]$$

Celkové náklady na výrobu jedné součástky s použitím nástroje z firmy Sandvik na stroji MCV 1270 Power činí 1378,5 Kč.

6.2. Propočet nástrojů z firmy Pramet

Tab. 6.2. Údaje k ekonomickému zhodnocení nástroje firmy Pramet – metoda PVD

hodinová sazba stroje	Kč/ks	600
trvanlivost řezné hrany	min	14
čas obrábění	min	75
nástroj	-	32E3R040M16 – SZD09-C
cena nástroje	Kč	4243
množství VBD v nástroji	ks	3
VBD	-	ZDCW 09T304
materiál VBD	-	PVD
cena VBD	Kč	146
množství řezných hran	ks	4

$$množství\ obrobků\ 1\ hranou = \frac{trvanlivost\ řezné\ hrany}{čas\ obr.} = \frac{14}{75} = \underline{0,186^{-}} [ks]$$

$$N_N = \frac{\left[\left(\frac{146}{4} \right) \cdot 3 \right] + \left[\frac{4243}{500} \right]}{0,186^{-}} = \underline{632,07 [Kč / ks]}$$

$$N_V = \frac{\left(\frac{600}{60} \right) \cdot 3}{0,186^{-}} = \underline{160,71 [Kč / ks]}$$

$$N_S = \frac{600}{60} \cdot 75 = \underline{750 [Kč / ks]}$$

$$N_{CELK} = 750 + 632,07 + 160,71 = \underline{1542,78 [Kč]}$$

Celkové náklady na výrobu jedné součástky s použitím nástroje z firmy Pramet povlakované PVD metodou na stroji MCV 1270 Power činí 1542,78 Kč.

Tab. 6.3. Údaje k ekonomickému zhodnocení nástroje firmy Pramet – metoda CVD

hodinová sazba stroje	Kč/ks	600
trvanlivost řezné hrany	min	6
čas obrábění	min	75
nástroj	-	32E3R040M16 – SZD09-C
cena nástroje	Kč	4243
množství VBD v nástroji	ks	3
VBD	-	ZDCW 09T304
materiál VBD	-	CVD
cena VBD	Kč	146
množství řezných hran	ks	4

$$množství\ obrobků\ 1\ hranou = \frac{trvanlivost\ řezné\ hrany}{čas\ obr.} = \frac{6}{75} = 0,08[ks]$$

$$N_N = \frac{\left[\left(\frac{146}{4}\right) \cdot 3\right] + \left[\frac{4243}{500}\right]}{0,08} = 1474,83[Kč / ks]$$

$$N_V = \frac{\left(\frac{600}{60}\right) \cdot 3}{0,08} = 375[Kč / ks]$$

$$N_S = \frac{600}{60} \cdot 75 = 750[Kč / ks]$$

$$N_{CELK} = 750 + 1474,83 + 375 = 2599,83[Kč]$$

Celkové náklady na výrobu jedné součástky s použitím nástroje z firmy Pramet povlakované CVD metodou na stroji MCV 1270 Power činí 2599,83 Kč.

Tab. 6.4. Vyhodnocené výsledky

Název firmy	Název VBD	Materiál VBD	Celková cena na výrobu 1 součásti VBD [Kč]
Sandvik	R210-09 04 14E-MM	2040	1378,5
Pramet	ZDCW 09T304	PVD	1542,78
Pramet	ZDCW 09T304	CVD	2599,83

Jak ukazují výpočty nástroj z firmy Sandvik dosáhl lepších výsledků i v tomto ekonomickém zhodnocení.

Závěr

Bakalářská práce se věnuje frézování titanové slitiny AMS 4911-Ti-6Al-4V. Tato práce byla poskytnuta firmou Pramet se sídlem v Šumperku. Cílem dané práce bylo porovnat konkurenční VBD od firmy Sandvik s nově navrženými VBD firmy Pramet, zjistit nedostatky nových prototypních VBD tak, aby co nejdříve firma Pramet mohla přijít na trh s konkurenčními VBD pro těžkoobrobitelné materiály.

Nejdříve proběhlo seznámení s celkovou problematikou obrábění titanových slitin. Po důkladném obeznámení byl firmou připraven návrh nové geometrie a povlaku VBD pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

Testování titanové slitiny bylo realizováno ve firmě Aero Vodochody, a.s., která je zaměřená na výrobu a konstrukci letecké techniky. Obrábělo se na automatizované frézce za dohledu kvalifikovaných pracovníků. Testovaly se dva odlišné druhy VBD, a to od firmy Sandvik a Pramet. Firma Pramet měla dva druhy prototypních VBD, a to s metodou povlakování PVD a CVD.

Břity VBD od konkurenční firmy Sandvik dosahovaly trvanlivosti 25 minut. Břity VBD firmy Pramet, povlakované metodou PVD vydržely pouhých 14 minut a metodou CVD 6 minut. Návrhem bylo snížit tloušťku třísky z $a_p=1$ mm na $a_p=0,8$ mm. Při tomto pokusu to nemělo žádný význam a výrazné opotřebení se ukázalo již kolem 7. minuty.

Z provedených experimentů vychází, že nástroj firmy Sandvik má lépe navržené složení základního materiálu, dobře promyšlenou geometrii a metodu povlakování. Firma Pramet musí zvolit houževnatější materiál s vhodným otěruvzdorným povlakem.

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z katedry obrábění a montáže VŠB–TU Ostrava a panu Bc. Miloslavu Veselému z firmy Pramet, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a také za to, že mi věnovali svůj čas.

Petra Hájková

Seznam použité literatury

- [1] O firmě Pramet Tools, s.r.o. [online]. [cit. 20. ledna 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.pramet.com/indexad49.html?menu=firma1>>.
- [2] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 185 s. ISBN 80-708-0600-1.
- [3] Pramet Tools, s.r.o., Šumperk: *Frézování 2012*. 2012. 318s.
- [4] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [5] INKOSAS, a.s., Praha: *Titan Grade 5*. 2008. 2s. [online]. [cit. 3. března 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.inkosas.cz/download/titanove-slitiny-grade/titan-grade-5.pdf>>.
- [6] Titan. [online]. [cit. 3. března 2012]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Titan>>.
- [7] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008, 126 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [8] Pramet Tools, s.r.o., Šumperk: *Teorie obrábění – Odborník*. 2008. 102 s.
- [9] KOVOSVIT MAS, a.s., Sezimovo Ústí: *Vertikální obráběcí centra*. 2009. 16s. [online]. [cit. 3. března 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>>.
- [10] BILÍK, Oldřich. *Obrábění II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 131 s. ISBN 80-707-8228-5.
- [11] Sandvik CZ, s.r.o. Praha: *Rotační nástroje - D 2011*. 2011. 336s. [online]. [cit. 16. března 2012]. Dostupné na WWW <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/ROT_D.pdf>.

- [12] Lackeed SR-71 Blackbird. [online]. [cit. 5. duben 2012]. Dostupné na WWW:
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Lockheed SR-71 Blackbird](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lockheed_SR-71_Blackbird)>.
- [13] De Vos, Patrik. Příručka pro technology-Obrobitelnost. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Prosinec 2011 [cit. 20. dubna 2012]. Dostupné na WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost.html>>.